np. of Pl. Nem. Dis. Contr.: P 43～ P 60(198?)

線蟲之生物防治趨勢

曾 顯 雄[1]

摘　　要　少數種類之濾過性病毒、立克次氏體、細菌、眞菌、原生動物、水熊（Tarigrade）、扁蟲（Tubellarians）、跳蟲（Collembolla）、蟎類、Enchytraeids、以及同類之線蟲可以捕食或寄生於線蟲。此類天敵具生物防治潛能。在這些天敵中以一種線蟲卵寄生菌、*Paecilomyces lilacinus*，以及一種寄生性放射線菌，*Pasteuria penetrans* 最具開發之遠景。應用這兩種天敵於田間進行防治病原線蟲，效果頗佳。但有關 *P. lilacinus* 接種源之大量製備、儲存、施用、存活以及生態適應性等特性，皆有待探討。*P. penetrans* 雖具耐受惡劣生態條件，可抗拒殺線蟲劑，以及高感染率等優異特性，但目前仍無法人工培養，在此瓶頸突破之前商品化有其困難。

一、前　　言

線蟲爲植物四大病原之一，常可造成可觀之經濟損失。例如包囊線蟲（*Heterodera* spp.）、穿孔線蟲（*Rhadophorus* spp.）、根瘤線蟲（*Meloidogyne* spp.）、莖莖線蟲（*Ditylenchus* spp.）、松材線蟲（*Bursaphelenchus xylophilus*）對作物之爲害，所造成嚴重之經濟損失即是一些耳目能詳之例證（5）。化學藥劑援例被用以消除植物重要病原線蟲，原因無它，化學藥劑常可收到立竿見影之預期效果（5）。但由於化學藥劑之長期使用也造成了一些副作用，如破壞生態體系之平衡，造成次要病原之猖獗，藥劑殘留造成水源土壤之污染、人畜中毒、抗藥性品系之迅速產生，使推廣不久之藥劑，失去療效…等（15）。由於這些體驗，一物剋一物的生物防治法之理念應運而生。雖然生物防治法，無法收到迅速療效，或在接種源之製備或篩選，或其生態適應性、存活機制…等皆有待探討和解決，但在兩權相害取其輕之認知下，皆共同認識"生物防治"仍爲長

1. 國立台灣大學植物病蟲害學系教授

遠之計[5，8，11，12，16]。

線蟲在自然界之天敵為數不少，這些天敵常可寄生或捕食線蟲而達到降低線蟲族羣之效果。如濾過性病毒、立克次氏體（Rickettsia）、細菌（圖1、2）、眞菌（圖3－11）、原生動物（Protozoa）、水熊（Tardigrade）、扁蟲（Turbellarians）、蟎類、跳蟲（Collembola），Enchytraids 以及同一族類之捕食性線蟲（圖12）（表一）。但在這些天敵中，除某些寄生性或捕食性之眞菌，以及一種寄生性之放射線菌 *Pasteuria penetrans*（圖13）而外，其餘瞭解甚少，更遑論在溫室或田間實際推廣應用以防治線蟲[11，15]。有鑑於此，本文將綜合評論最近幾年來，有關於嚐試應用線蟲殺生眞

表一：對植物病原線蟲拮抗之微生物一覽表。（摘自 Sayer，1980b）

Table 1. Partial list of microorganisms antagonistic to plant-parasitic nematodes

Kind of organism	Scientific name	Mode of antagonism
Bacteria	*Bacillus penetrans*	Spores of bacterium attach to larvae, penetrate, and convert contents of maturing female totally to new spores
Fungal predators of larvae	*Stylopage hadra*	Nematodes are captured by adhesive nonseptate hyphae
	Arthrobotrys oligospora	Species forms sticky network for capturing larvae; most common of trapping fungi
	Dactylaria candida	Species forms three-celled nonconstricting rings and adhesive knobs that ensnare larvae
	Dactylaria brochopaga	Species forms three-celled constricting rings that are triggered when larvae enter ring openings.
Fungal parasites of larval	*Catenaria sp.*	Chytridiomycete species are weakly parasitic on many nematodes species; zoospores attacking larvae are uniflagellate
	Myzocytium humicola	Oomycete species has sexual stages; biflagellate zoospores attach to larvae
	Meristacrum asterospermum	Zygomycete species produce conidia that attach to cuticle of larvae
	Harposporium anguillulae	Deuteromycete species produce conidia that are ingested by saprozoic nematodes and germinate in their gut

Kind of organism	Scientific name	Mode of antagonism
	Nematoctonus sp.	Basidiomycete species produces spores that attach to and penetrate hosts
Fungal parasites of eggs	*Verticillium chlamydosporium*	Species converts egg contents to hyphal mass
Fungal parasites of adults and cysts	*Dactylella oviparasitica*	Primarily fungal parasite of eggs but occasionally attacks mature female root-knot nematodes; associated with decline of root-knot populations on citrus
	Nematophthora gynophila	Fungus resting spores are found in mature *Heterodera avenae* cysts and have been associated with decline of nematode populations
Invertebrate predators on larvae and adults	*Mononchus* sp.	Genus of predatory nematodes that attack many species of plant-parasitic nematodes and other soil fauna
	Theratromyxa weberi	Amoeboid species that preys on larvae of many nematode species
	Adenoplea sp.	*Turbellarian species that preys on larvae and vermiform adult nematodes*
	Hypsibius sp.	*Tardigrade species (''water bears'') that feed on nematodes and several other soil microorganisms*
	Onychiurus armatus	Collembola species that feeds on cysts

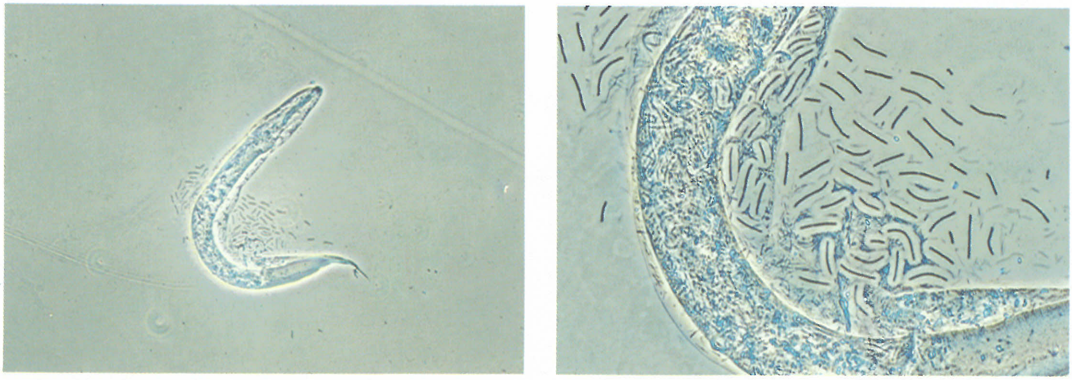

圖１－２　線蟲之寄生菌（可能為放射線菌）。

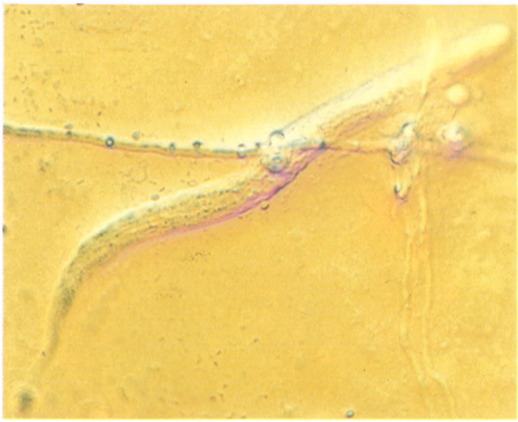

圖 3　線蟲捕捉菌 *Stylopage* 於菌絲上產生粘性芽捕捉線蟲 。

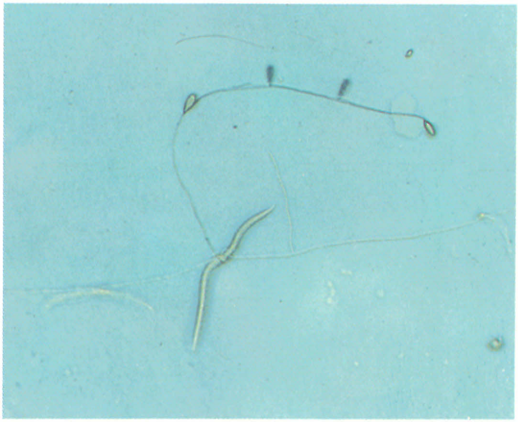

圖 4　線蟲捕捉菌 *Stylopage* 之孢子及其所捕獲之線蟲 。

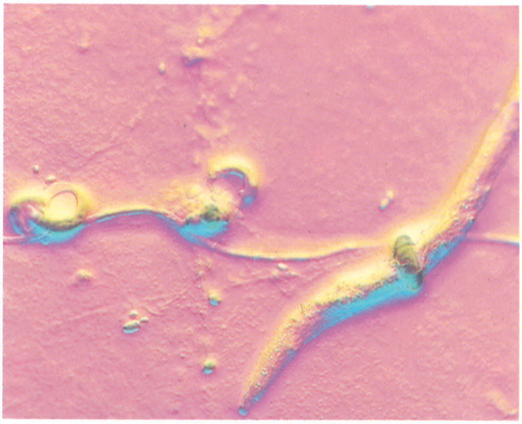

圖 5　線蟲捕捉菌之捕捉網及其所捕捉之線蟲 。

圖 6　捕捉菌之粘著球，非收縮環及被捕獲之線蟲。菌絲已充滿線蟲之體腔。

圖 7　於自然條件下所產生之直立收縮環，以及一隻被捕獲之線蟲 。

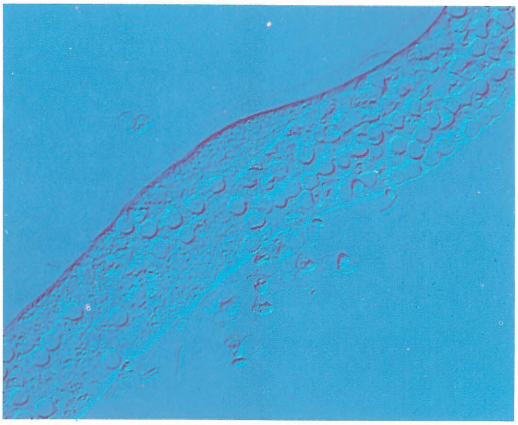

圖 8　一種卵菌 *Haptoglossa* 寄生於線蟲，以及其所產生之特化舌狀構造。

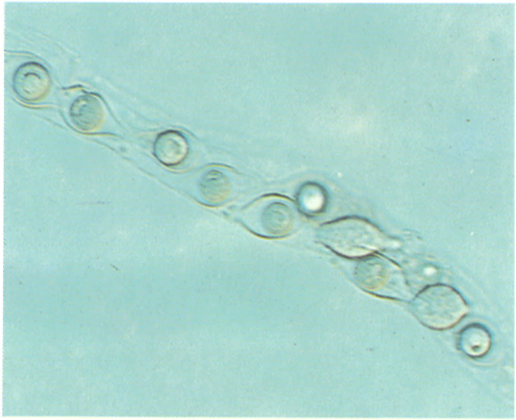

圖 9　寄生於線蟲之卵菌之游走子囊和休眠體。

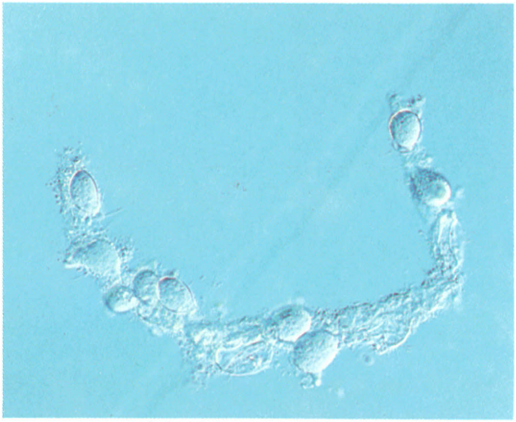

圖10　寄生於線蟲之壺菌 *Catenarra* 。

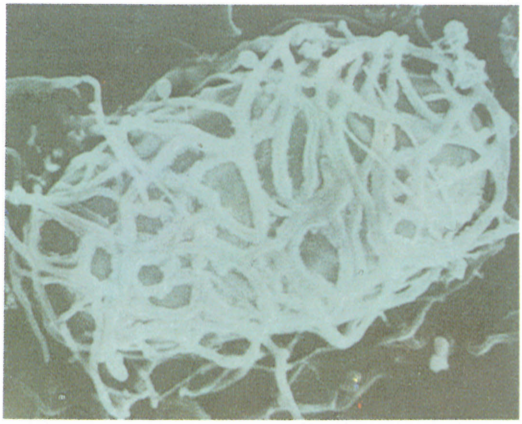

圖11　線蟲卵被眞菌寄生
（摘自Jatala, 1986）

圖11　線蟲卵被眞菌寄生
（摘自Jatala, 1986）

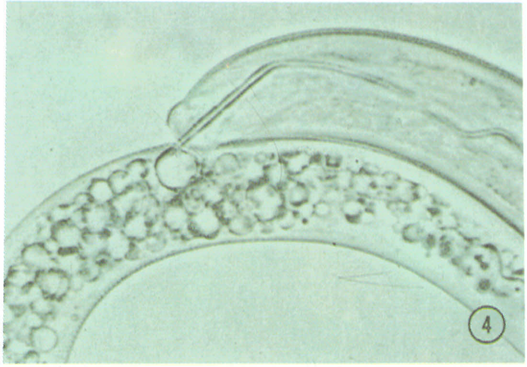

圖12　捕食性線蟲 *Seinura tenuicaudata* 以其口針穿入其它線蟲 *Aphelenchus avenae* 之體腔內取吸養分。（摘自 Sayre , 1979）

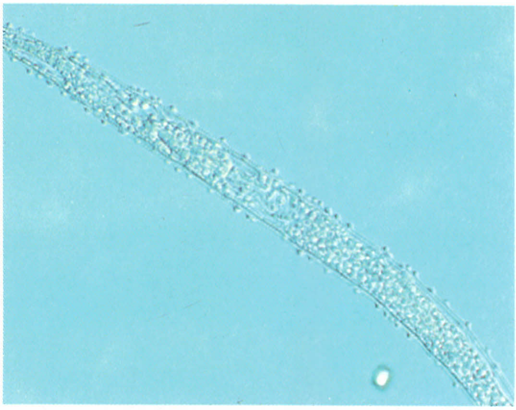

圖13　寄生於腐生性線蟲之 *Pasteuria penetrans* 。

菌（Nematode—destroying fungi）[3,4,9,10,11,12,13,15,19,22]，以及寄生性之放射線菌 *P. penetrans*[1,2,17,18,19,23]防治植物病原線蟲之一些田間試驗。此外，菌根菌，尤其是叢狀枝一囊狀體菌根菌（Vesicula—arbuscular mycorrhizal fungi，VAMF）常可與植物共生，强化植物之生理活性，增加其抵抗土壤傳染性病原之能力[8,16,21]。某些菌根菌甚至可以侵入寄主包囊線蟲之卵或母蟲，雖然其病原性並不很强[6]。這一方面也將於文中略加介紹。

二、線蟲殺生眞菌在防治線蟲上之應用

線蟲殺生菌之分類地位，寄生模式及感染致病過程

至目前爲止大約200種眞菌被報導可以寄生或捕捉線蟲，最後將其殺死[15,19]。這200種眞菌分別隸屬於壺菌、卵菌、結合菌、不完全菌、或較高等之擔子菌（表一）（圖3～10）。隨著菌類不同，其寄生模式、感染致病過程亦大異其趣[19]。或設置陷阱、或投擲飛鏢，結構巧妙，令人嘆爲觀止。如一種卵菌 *Haptoglossa heterospora*（圖8）之游走子囊可釋放具兩根鞭毛之游走子，此游走子在休眠時首先將鞭毛縮入體內，繼之，形態急劇轉換，產生側生之舌狀構造，此構造內具投擲穿刺之鏢狀系統，當受線蟲刺激時，即可定向瞬間投射，刺穿線蟲體壁，並同時送入小生子（Sporidia），小生子即可在線蟲體內生長發育而完成感染生活史（圖8）。壺狀菌之游走子則可直接游到線蟲之口腔，排泄孔、或泄殖口鄰近休眠、發芽、侵入、感染而完成生活史。屬於不完全菌線菌綱之 *Dactylaria brochopaga* 則可生精緻之收縮環（Constricting ring），當線蟲之頭部或體軀無意間穿過此環時，即可引發收縮環之三個細胞向內膨脹而將此線蟲套牢，然後再行侵入體軀內而將其器官組織破壞，並將養分吸收殆盡，最後只留下角質層。其它之線蟲捕捉菌或產生粘著網（圖5），或產生粘著球（圖6）及非收縮環（圖6），甚至在某些菌類如 *Stylopage* 更爲簡化，只在菌絲上產生捕足之粘著芽。有些菌類如 *Verticillium chlamdosporum*，*Dactylella oviparasitica*, *Paecilomyces lilacinus* 以及某些內生菌根菌則似乎偏好寄生線蟲之卵（圖11），於寄生之後期，整個胚胎全爲菌絲所取代。

線蟲殺生菌在防治上之實際運用

嚐試應用線蟲捕捉菌來防治病原線蟲，歷史久遠。1937年，Linford 氏於美國夏威夷即曾以線蟲捕捉菌去防治鳳梨根瘤線蟲[15]。其後，英國之 Duddington 於1956年也作過類似之生物防治試驗，但對象爲馬鈴薯黃金線蟲 *Globodera rostochiensis*[15]。但兩者所得之結果時好時壞，缺乏可重複性。法國 Coyrol 等人，於1978－1979年間篩選出捕捉能力較强，生長速率較佳之線蟲捕捉菌 *Arthrobotrys robusta*，製成商品化之眞菌性殺蟲劑 Royal 300® 及 Royal 350®，前者用以防治洋菇線蟲 *Ditylenchus myceliophagous*，後者用以防治蕃茄根瘤線蟲（*Meloidogyne* spp.）。Royal 300® 據報導可以減少洋菇線蟲族羣40％，增加洋菇產量20％，但 Royal 350®，在根瘤線蟲爲害嚴重時

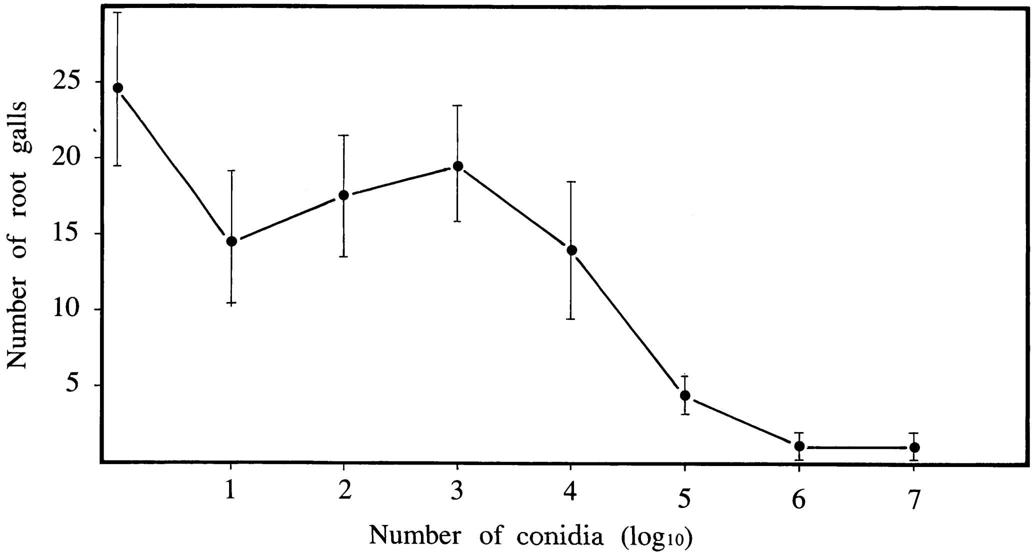

圖１４：*Meria coniospora* 不同孢子濃度對已接種 *Meloidogyne javanica* 5000個卵的蕃茄產生根瘤情形之影響，每一點表示10個重覆的平均值，垂直線段代表標準誤差。（摘自 Jansson , 1985）

表二：土壤中加入被 *Meria coniospora* 感染之腐生性線蟲 *Panagrellus redivivus* , 對蕃茄因 *Melodogyne javanica* 感染結瘤情形之影響，並與殺線蟲劑 Aldicarb 施用結果相比較。共有10個重覆數。（摘自 Jansson , 1985）

Table 2. *Meloidogyne javanica* galling of tomato as affected by *Meria coniospora* added to soil via infected *Panagrellus redivivus* compared with application of aldicarb, replicated 10 times.*.

Treatment	Number of *M. coniospora* infected *P. redivivus*	Galls per root system
M. coniospora + *P. redivivus*	10	18.8±3.0
	100	5.2±2.1**
	1,000	2.7±1.2**
Aldicarb (15 g a.i./ 250 cm^3 soil)	0	0.7±0.2**
Nontreated	0	21.6±4.1

*每盆栽接種 *M. javanica* 5000個卵

＋數值以平均值±標準誤差表示

＊＊在1％顯著水準下，和對照組間有差異者

〔註〕每處理之誤差均予以計算。所得數據以變方分析統計。

，則只推薦先施用化學殺蟲劑之後再施用[11]。有關 Royal 350®，在防治線蟲之效果仍有待更進一步去評估。最近幾種內部寄生菌，其在防治線蟲之潛能也陸續有過探討。如在溫室塡加線蟲內部寄生菌（*Meria coniospora*）之孢子或被 *M. coniospora* 所感染之腐生性線蟲 *Panagrellus redivivus* 於感染根瘤線蟲，*M. incognita* 之盆栽蕃茄，當所塡加孢子之濃度在10^{5-7}／mℓ（圖14），或100－1000隻被 *M. coniospora* 感染過之 *P. redivivus*（表二），則可顯著降低根瘤數，其所收到之防治效果和施用殺線蟲劑 Aldicard 相彷彿[9]。但有關田間之防治試驗則尚付闕如。另一方面卵寄生菌 *Paecilomyes lilacinus*，被應用以防治柑桔駝形線蟲 *Tylenchulus semipenetrans*，以及多種作物之根瘤線蟲，所收成效甚佳。施用 *P. lilacinus* 可以降低線蟲數目，並提高柑桔之品質，其效果甚至超越殺線蟲劑 Temic，V-10（圖15）。在馬鈴薯方面，*P. lilacinus* 感染根瘤線

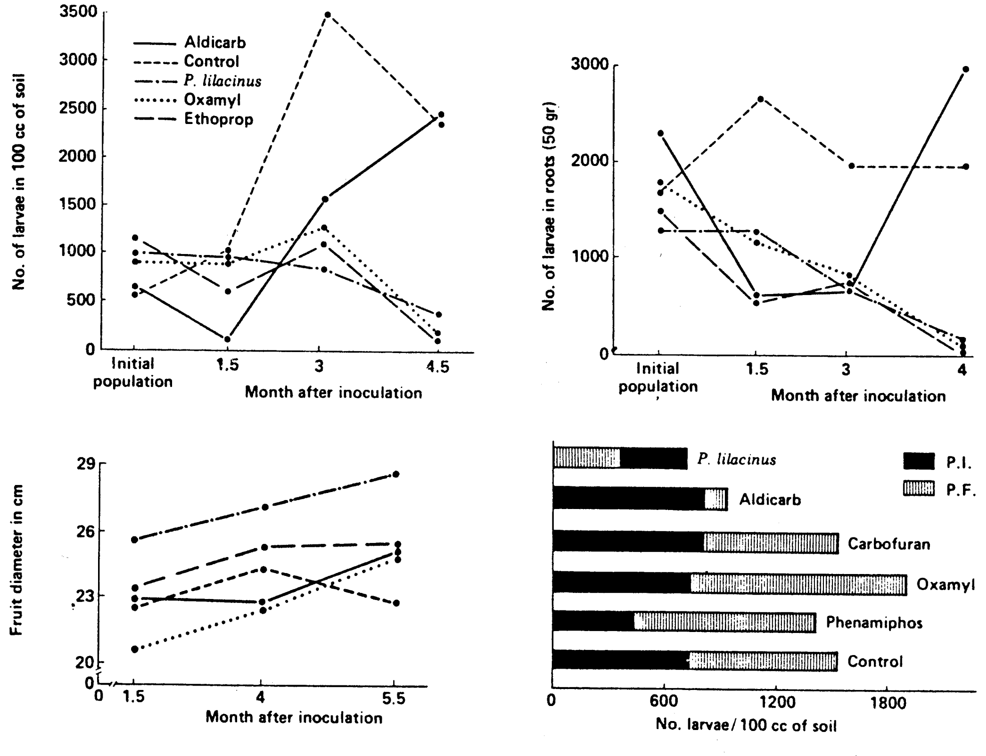

圖15：*Paecilomyces lilacinus* 和一些殺線蟲劑對柑桔線蟲 *Tylenchulus semipenetrans* 族羣變化之影響。左上方：土壤中線蟲數；右上方：根內線蟲數；左下方：果粒直徑；右下方：檸檬植株根圈周遭土壤中之幼蟲數。（摘自 Jatala，1986）

蟲 *M. incognica* 卵之寄生率可高達86%，並顯著減少根瘤數（表三），而且商品價值之塊莖量也顯著增加（表四）。為評估此菌於世界不同地區之推廣可行性，更經由根瘤線蟲國際計劃（International Meloidogyne Project , IPM）研究組織之協助，於大約60個國家進行田間防治試驗，其中部分國家也獲得類似之效果（10，11）。菲律賓之 Davide 氏應用此菌製成殺蟲劑，登記為 Biocon 於市場公開銷售（3）。類似此類之生物防治似方興未艾，所獲致之成果是否經得起考驗，仍有待觀察。

表三：不同處理對 *Meloidogne incognita* 感染馬鈴薯（'Cuzco 品系）之影響（摘自 Jatala , 1985）

Effect of different treatments on the reaction of potato cv. " Cuzco" to *Meloidogyne incognita.* (Courtesy of Jatnta, 1985)

Treatment	Average root galling index[a]	% egg mass infection	% eggs destroyed
Paecilomyces lilacinus	2.93	86.0	54.7
Temik 10% G (25 kg/ha)	3.36	0	0
Nemacur 5% G (50 kg/ha)	3.44	0	0
Furadan 5% G (50kg/ha)	3.57	0	0
Organic matter (10 ton/ha)	3.62	0	0
Control	3.60	0	0
LSD 0.01	0.19		
0.05	0.14		

a　120個觀察樣本，1＝無根瘤產生至5＝根瘤發生極為嚴重

表四：*Paecilomyces lilacinus* 和藥劑 Temik 之田間應用對 *Meloidogyne incognita* 之影響（處理於馬鈴薯田）。（摘自 Jatala , 1985）

Effect of field application of *Paecilomyces lilacinus* and Temik on *Meloidogyne incognita* : Effect on yield of potato. (Courtesy of Jatafa, 1985)

Treatment	Kg total yield/ 400 m^2 plot	Kg infested tuber yieid/400 m^2 plot	Kg non-fnfested tuber yied/400 m^2 plot
Control	814.61	691.92	122.69
P. lilacinus	721.63	419.04	302.59
Temik 10 % G(25kg/ha)	656.88	509.76	147.12
LSD 0.05	104.62	27.60	85.10
0.01	139.32	36.72	113.28

三、叢狀枝－囊狀體內生菌根菌對線蟲之拮抗作用

結合菌綱、內生菌目（Endogonales），內生菌科（Endogonaceae）內所涵括之許多屬、如 *Glomus* , *Gigaspora* , *Sclerocystis* 等常可感染農藝、園藝、或森林作物之根系，形成共生構造，稱爲菌根。菌根有許多有益效應，其中之一，即爲增加植物對土壤病原之抵抗能力。在苜蓿（alfalfa）不管是抗病或感病品種，經 *G. fasciculatum* 接種菌根以後，其抵抗北方根瘤線蟲 *M. hapla* 感染及阻礙其發育之能力大爲增加，並減低蟲口數（圖16）。此抗病能力之增加，推測和植物寄主生理改變或對水分吸收之能力增加有關[8]。在其它，根瘤線蟲－植物寄主－內生菌三者間相互作用之研究亦獲得類似之結果[21]。雖然眞正之機制尙不清楚，但可能和根分泌物質之改變，改變了線蟲之趨性，或在構造上之改變如線圈狀菌絲，囊狀體或叢狀枝之形成阻礙侵入，亦可能生理之改變而影響線蟲之正常發育及繁殖[21]。*G. fasciculatum* 除和病原競爭養分或生存空間外，亦可直接侵入大豆包囊線蟲 *H. glycine* 之包囊，進而侵入包囊內之卵，雖然此寄生率並不很高，只占 1 %而已。*G. fasciculatum* 雖可抑制大豆包囊線蟲第一代雌蟲族羣，但此壓抑效果並無法延續到第二代。故考慮應用此菌於生物防治似不可行[6]。

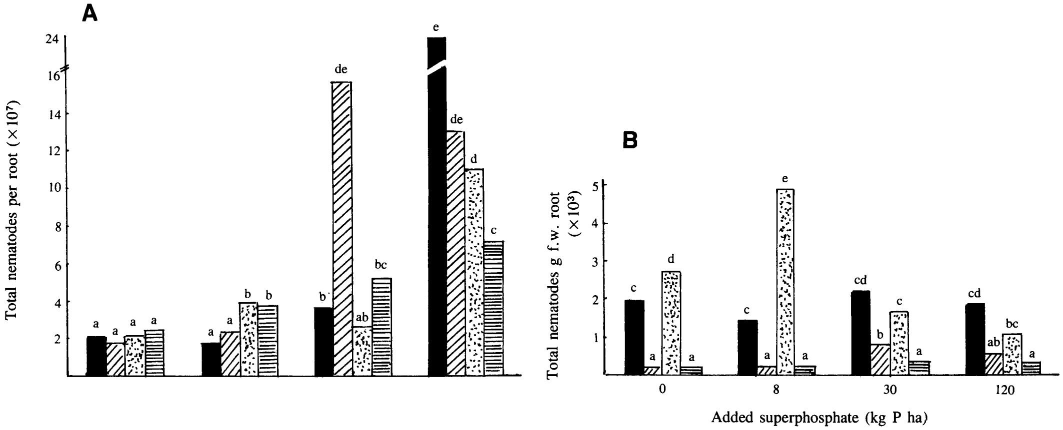

圖16　線蟲感病性植物紫花苜蓿（alfalfa），於單獨接種菌根菌或同時接種菌根菌和線蟲12週後被線蟲感染之程度。菌根菌於移植時加入。接種時間(a)：線蟲於移植時加入；接種時間(b)：線蟲於移植 4 週後加入。(A)每根系統之總線蟲數（幼蟲和成蟲）(B)根每克濕重所含總線蟲數（幼蟲和成蟲）。經變方分析和平方根轉換後，每條狀圖其相同字母者表彼此差異不顯著（ P ＜0.05 ），■線蟲(a)(3)；▨菌根菌－線蟲(a)(4)；▩線蟲(b)(5)；▤菌根菌＋線蟲(b)(6)。（摘自 Grandison & Cooper , 1983 ）

四、寄生性放射線菌 *Pasteuria penetrans* 在防治線蟲之應用

許多植物病原線蟲常被發現爲一種微生物所寄生（圖13、17）。這種寄生性之微生物於1940年首先被 Thorne 命名爲 *Duboscquia penetrans* 認爲它是屬於微孢子類之原生動物[20]。但經由形態、構造、生活史之詳盡探討，Mankau 認爲它並非是原生動物

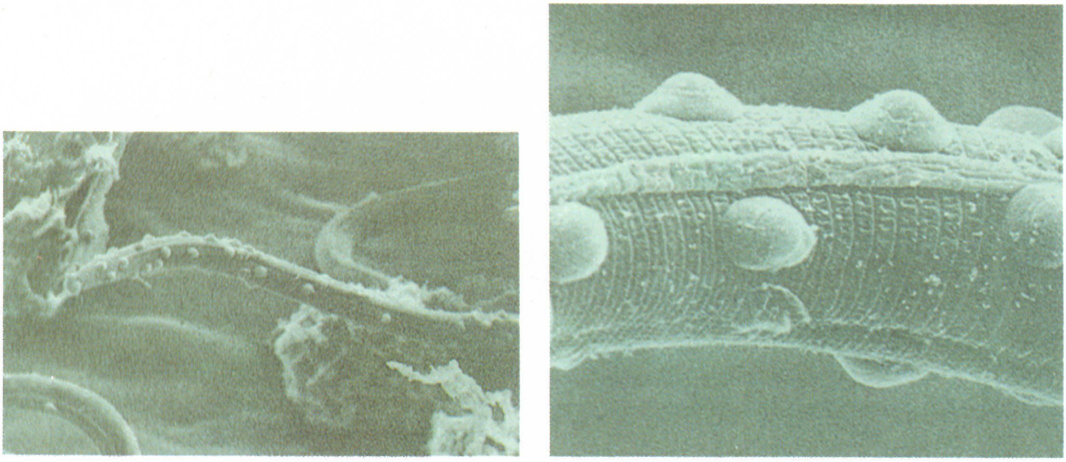

圖17　掃描電子顯微觀察 *Meloidogyne incognita* 幼蟲的表皮黏附著 *Bacillus penetrans* 的孢子，此寄生菌繼續生長，穿過表皮而侵入線蟲體內。（摘自 Wergin & Sayre；摘自 Dropkin 1980）

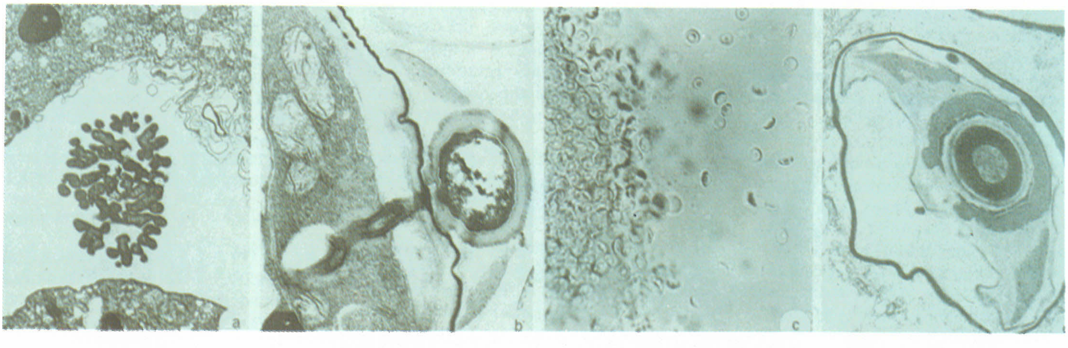

圖18　*Bacillus penetrans* 的生活期(A)細菌於正發育母線蟲假體腔內無性生長的微小菌落(B)孢子發芽產生侵入釘，穿透根瘤線蟲的表皮和皮下組織(C)大量的細菌孢子自感染破裂的線蟲母體流出(D)成熟的孢子囊，具有孢囊壁和極薄的外壁包圍著孢子。（摘自 Sayer，1980b）

。*D. penetrans* 爲原核性，又具產生內生孢子之特徵，因而，分類地位被歸屬於桿菌屬，故更改其學名爲 *Bacillus penetans*[14]。但事實上這種菌類可產生絲狀體之構造，在生活史又和寄生於水蚤類之一種放射線菌 *Pasteuria ramosa* 極其類似，故應再更置於 *Pasteuria* 應殆無疑義，因此 Sayer 和 Starr（1985）仍將此菌正名爲 *P. penetrans*[20]。

P. penetrans 之寄生模式、感染致病過程及寄主專一性

散生於土壤中之 *Pasteuria penetrans* 之孢子囊孢子在接觸到具親和性的線蟲時，即可粘附於線蟲體表（圖13、17），經過休止期（Latent peroid）（一般 4 － 8 天），孢子即可發芽，產生侵入釘，貫穿線蟲體表、肌肉，再進入體腔（圖18），於體腔內發芽成微小菌落（圖18）。此微小菌落由一中心往外輻射之許多連續雙叉狀分枝構成（圖18）。成熟時此刀叉狀分枝可轉化，斷生成四極體、二極體、最後斷生而成單極體，即所

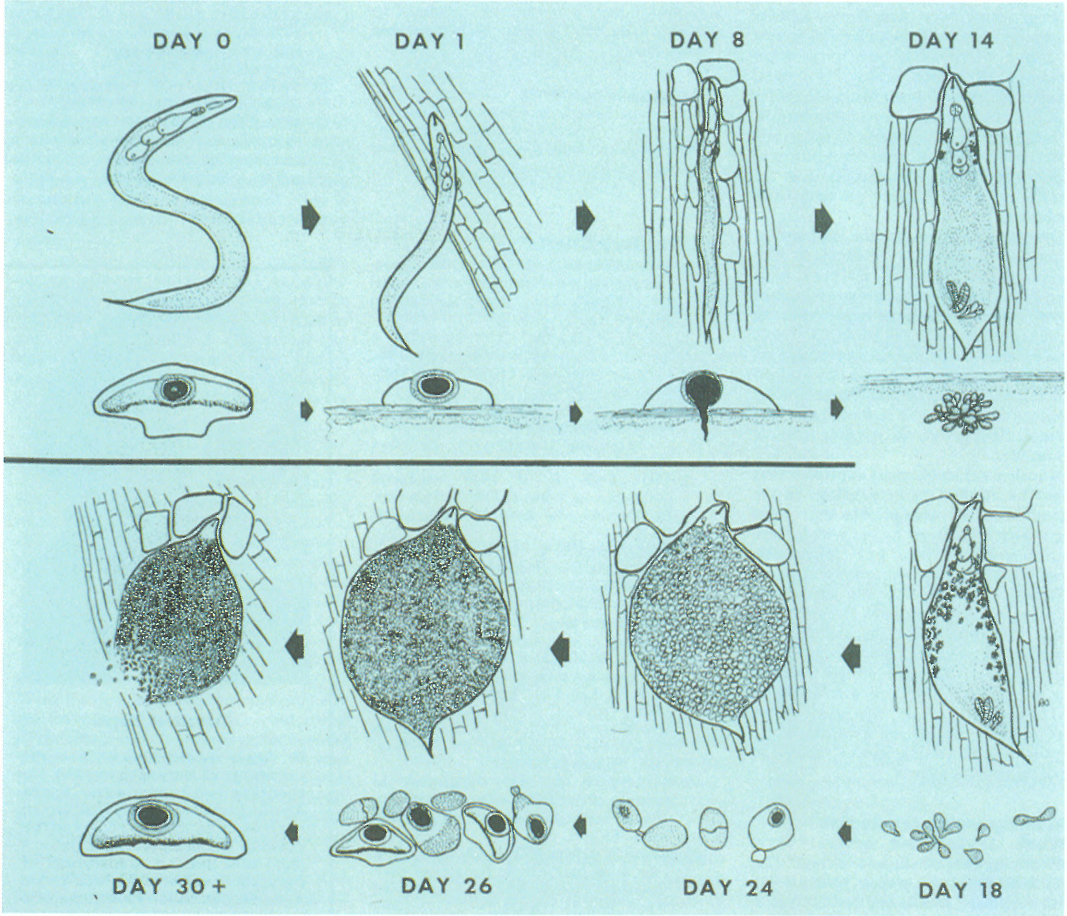

圖19　根瘤線蟲和*Bacillus penetrans*之生活史。於線蟲各發育期之圖示下方爲相對*B. penetrans*生活期之放大。（摘自Sayer, 1980b）

謂孢子囊及孢子囊孢子（圖19）。一般一隻被 *P. penetrans* 所寄生之根瘤線蟲母蟲（圖18、19）可產生200萬個孢子囊孢子[17,18,19]。若就侵染根瘤線蟲而言，孢子之發芽侵入，感染根瘤線蟲不同階段之進展和根瘤線蟲侵入感染植物之根系，取食發育而成成蟲皆息息相關，而有所謂同步化（Syncronization）這種說法（圖19）。故 *P. penetrans* 可以顯著壓抑根瘤線蟲母蟲之產卵。*P. penetrans* 之孢子厚壁，極耐乾燥、高溫和殺線蟲劑[18]，此一特性即構成爲生物性殺線蟲劑之極其有利條件。*P. penetrans* 亦呈現一定程度之寄主專一性，如由 *Pratylenchus brachyurus* 所收集到之 *P. penetrans* 就只能寄生 *P. brachyurus* 而不能感染其它之線蟲。由根瘤線蟲 *M. incognita* 所分得之 *P. pentrans* 也只能感染十種根瘤線蟲中之兩種[18]。由台灣所收集到之 *P. penetrans*（圖13），嚐試接種松材線蟲 *B. xylophilus*，也無法成功（曾，1987年未發表之觀察）。

P. penetrans 之田間實際應用

Stirling（1984）所設計之試驗方法（圖20）可以很清楚地證明根瘤線蟲被 *P. penetrans* 之感染率和土壤中存活之孢子濃度成正比（表五），並且也和根瘤線蟲於土壤中之泳動距離成正比（圖20）（表五）。一般感染蕃茄之根瘤線蟲在根圈平均要游動75公分方可達到取食點，但是一般只泳動 4 公分時便足以被 *P. penetrans* 所感染。故 *P. peretrans* 亦可降低根瘤線蟲第二齡幼蟲之感染能力。Stirling（1984）於二個不同地點進行生物防治試驗，顯示塡加適量之 *P. penetrans* 便可以顯著地降低根瘤線蟲之蟲口數和根瘤指數。在其中一處，蕃茄之地上產量也顯著增加（表六）。塡加 *P. penetrans* 所得之防治效果並不遜於殺蟲劑 Fenamiphos（表六）。其它在菸草、豌豆、大豆之田間試驗也證實 *P. peretrans* 可降低 *M. incognita* 之病原性，減少受根瘤線蟲感染之損失在

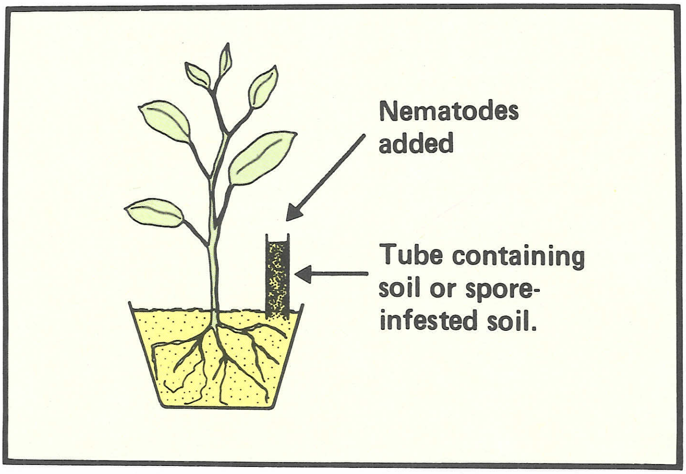

圖20　用來探討線蟲移動，孢子濃度和發病之間關係的方法。（摘自 Stirling，1984）

23～50％之間[1,2]。在蕃茄、菸草、胡椒、大豆，豌豆田，若同時施用 *P. pentrans* 和卵寄生菌 *P. lilacinus* 則可以顯著減少根瘤線蟲蟲口數、卵囊數、卵之孵化率，以及增加植物之地上部之乾重量（表七）。*P. penetrans* 和 *P. lilacinus* 同時施用，和 *P. penetrans* 或 *P. lilacinus* 單獨施用不同處理，所得之結果差異並不顯著（表七）[4]。綜觀上述 *P. penetrans* 是一具相當潛力之生物防治劑，頗具開發價值，但目前尚無法以人工方法培養，大增接種源之製備有其困難，此瓶頸有待克服[19,23]。

表五：土壤中 *Bacillus penetrans* 對 *Meloidogyne javanica* 感染蕃茄之影響。（摘自 *Stirling, 1984* Infectivity of *Melodogyne javanica* to tomato in soll containing *Bacillus penetrans* (Coutesy of *Stiring*, 1984)

B. penetrans (mg/kg soil)	Females per root system[4]	Healthy females per root system[3]	Females infected (%)
0	573(6.34)	573(6.43)	0
100	340(5.77)	127(4.76)	63
200	227(5.40)	44(3.75)	81
400	206(5.28)	19(2.84)	91
LSD (P = 0.05)	(0.30)	(0.41)	

*Numbers in parentheses transformed : log (no. nematodes + 1)

表六：於兩處理區應用 *Bacillus penetrans* 和殺線蟲劑 fenamiphos 對蕃茄產量及地上部生長，根瘤指數，*Meloidogyne* 族羣之影響。（摘自 Stirling , 1984 ）
Effect of *Bacillus penetrans* and nematocide fenamiphos on top growth and yield of tomato, root-knot index, and populations of *Meloidogyne*, at two field sites (Courtesy of Stirling, 1984)

	Dry Wt. tops(g)	Fruit Wt. (kg/plant)	Root-knot index	*Meloidogyne* juveniles/200g soil[a]	
Site 1					
Dried roots + B. penetrans (106mg/kg)	179	1.6	2.5	891	(6.22)
(212mg/kg)	157	1.3	1.4	257	(4.77)
(424mg/kg)	157	1.3	0.5	144	(4.41)
Dried roots (424mg/kg)	113	0.9	4.8	1.231	(6.24)
Untreated control	88	0.9	4.9	1.091	(6.54)
LSD (p <0.05)	56	n.s.	***[b]		(1.37)

	Dry Wt. tops(g)	Fruit Wt. (kg/plant)	Root-knot index	*Meloidogyne* juveniles/200g soil[a]	
Site 2					
Dried roots+B. penetrans (300mg/kg)	240	6.3	2.8	422	(5.84)
(600mg/kg)	194	6.2	1.6	748	(5.52)
Fenamiphos(wk0)	247	7.7	3.4	2.307	(7.11)
(wk0.4.8)	222	6.4	1.0	177	(4.77)
Dried roots(300mg/kg)	167	3.3	5.0	5.504	(8.57)
(600mg/kg)	188	5.3	5.0	4.168	(8.57)
Untreated control	141	3.8	5.0	4.313	(7.77)
LSD (P =0.05)	n.s.	n.s.	＊＊[b]		(1.33)

a.括弧內數值爲 loge（線蟲數＋1）

b.根據 Friedman's test 比較差異是否顯著（＊＊，P＝0.01；＊＊＊，P＝0.001）

表七：*Paecilomyces lilacinus* 和 *Pasteuria penetrans* 對根瘤指數，卵塊總數，*Meloidogyne incognita* 卵孵化率及煙草 *Nicotiana tabacum* NC2326地上部重量之影響。（摘自Dube和 Smart,1987）

Effect of Pascilomyces and Pastsuria penetrans on root gall index, mass count, and egg hatch of *Meloidogyne incognita*, and top weights of tobacco, *Nicotiana tabacum* NC 2326, (Courtesy of Dube & Smart, 1987)

Treatmant	RGI†	EMC‡	%egg hatch	Fresh top weight (g)
1. *M. incognita* + *P. lila in s*	1.5 a	12 a	44 a	188 c
2. *M. incognita* + *P. penetrans*	2.0 a	13 a	65 b	131 b
3. *M. incognita* + *P. lilacinus* + *P. penetrans*	1.5 a	10 a	44 a	172 c
4. *M. incognita only*	4.8 b	29 b	78 c	35 a
5. *P. lilacinus only*	1.0 a			187 c
6. *P. penetrans only*	1.0 a			189 c
7. *P. penetrans* + *P. lilacinus*	1.0 a			187 c
8. Untreated control	1.0 a			188 c

數值爲二次實驗平均值

依據 Waller—Duncan K— ratio t—test 統計方法分析。同一列中平均值後之字母相同者，表差異不顯著
＋根瘤指數（1 ＝無根瘤， 2 ＝25％， 3 ＝50％，4＝51－75％， 5 ＝超過75％根結瘤）
＋每0.5 g 根重所含卵塊總數

五、結　論

利用生物方法來防治各種病原，包括線蟲在內，是未來病害管理的必然趨勢。在許多天敵中，線蟲之眞菌性卵寄生菌 *P. lilacinus* 以及放射線菌寄生菌 *P. penetrans* ，由田間之防治試驗得知是兩種最具潛力之生物防治劑。但 *P. penetrans* 到目前爲止仍爲絕對寄生菌，無法以人工培養，此困難必須加以解決，然後才可能大量生產，商品化以供應用。故如何更進一步去了解 *P. penetrans* 之生物學特性如孢子發芽之機制等應爲當務之急。此外此菌具專一性，故對生理小種或其它類似種之找尋探討亦頗具學術研究價值。至於卵寄生菌 *P. lilacinus* 有關此菌接種源之製備、儲存、存活、感染率、田間效應評估…等皆應進一步研究，提供正確之訊息。在另一方面拮抗微生物之抗生作用 (Antibiosis)[7，11]，或塡加有機質，如 Chitin ，來改變土壤微生物相及其活力，間接達到抑制線蟲族羣之目的。這方面研究所得之訊息應可提供合成殘毒較小之新殺線蟲劑。

在英國燕麥多年單作，則罹患包囊線蟲 *Heterodera avenae* 之爲害有逐年下降之趨勢[13]。研究試驗間接顯示係由於此類線蟲之眞菌性天敵，如 *Verticillium chlamydosporum*, *Nematophthora gyrophila* 或 *Catenaria auxiliaris* 寄生感染所發揮之自然平衡作用[12，13]。日本多年單作之大豆遭受包囊線蟲 *H. glycines* 之感染率也有自然下降之類似情形。但此罹病率之下降由多年分析證據顯示和 *P. penetrans* 寄生有關（Nishizawa ，1988，5th ICPP 演講論文）。在自然界，天敵和生態條件調和時，即可發揮平衡效果。故如何去了解自然，模仿自然，然後加以應用，或許是線蟲生物防治成功與否之關鍵所在。

六、參考文獻

1. Brown, S. M., and B. C. Smart, Jr. 1985. Root penetration by *Meloidognye incongita* juveniles infected with *Bacillus penetrans*. J. Nematology. 17:123-126.
2. Brown, S. M., J. L. Kepner, and G. C. Smart, Jr. 1985. Increased crop yields following application of *Bacillus penetrans* to field plots infested with *Meloidogyne incognita*. Soil Biol. Biochem. 17:483-485.
3. Davide, R. D. 1988. Biocon controls nematodes biologically. Biotechology 5:772.
4. Dube, B., and G. C. Smart, Jr. 1987. Biological control of *Meloidogyne incognita*

by *Paecilomyces lilacinus* and *Pasteuria penetrans*. J. *Nematology*. 19:222-227.

5. Dropkin, V. H. 1980. Introduction to Plant Pathology. John Wiley & Jons Inc. New York. 293 PP.
6. Francl, L. J., and V. H. Dropkin. 1985. *Glomus fasciculatum,* a weak pathogen of *Heterodera glycines*. J. Nematology 17:470-475.
7. Garabedian, S., and S. D. Van Gundy. 1983. Use of avermectins for the control of *Meloidogyne incognita* on tomtoes. J. Nematology 15:507-511.
8. Grandison, G. S., and K. M. Cooper. 1986. Interaction of vesicular-arbuscular mycorrhizae and cultivars of alfalfa susceptible and resistant to *Meloidogyne halpa*. J. Nematology 18:141-149.
9. Jansson, H. B., A. Jeyaprakash, and B. M. Euckerman. 1985. Control of root-knot nematodes on tomato by the endoparasitic fungus *Meria coniospora*. J. Nematology 17:327-329.
10. Jatala, J. 1985. Biological control of nematodes. In advanced Treatise on *Meloidogyne*. Vol. 1. (J. N. Sasser & C. C. Carter ed.), PP. 303-308. North Carolina University & U.S.F.I.D. Publication. 422 PP.
11. Jatala, J. 1986. Biological control of plant parasitic nematodes. Ann. Rev. Phytopathol. 24:453-489.
12. Kerry, B. 1980. Biocontrol: fungal parasite of female cyst nematodes. J. Nematology 12:253-259.
13. Kerry, B. 1981. Fungal parasites: a weapon against cyst nematodes. Plant Dis. 65:391-393.
14. Mankau, R. 1975. *Bacillus* n. comb. causing a virulent disease of plant-parasitic nematodes. J. Invert. Path. 26:333-339.
15. Mankau, R. 1980. Biological control of nematode pests by natural enemics. Ann. Rev. Phytopathol. 18:415-40.
16. Sayre, R. M. 1971. Biotic influences in soil environment. In Plant parasitic nematodes. Vol. 1. (B. M. Euckerman, W. F. Mai, R. A. Rohde ed.) PP. 235-66. Academic Press New York. 345 PP.
17. Sayre, R. M., and W. P. Wergin, 1977. Bacterial parasite of a plant nematode: morphology and ultrastructure. J. Bacteriology 129:1091-1101.
18. Sayre, R. M. 1980a. Biocontrol: *Bacillus penetrans* and related parasites of nematodes. J. Nematology 12:260-269.
19. Sayre, R. M. 1980b. Promising organisms for biocontrol of nematodes. Plant Dis. 64:527-532.
20. Sayre, R. M., and M. P. Starr, 1985. *Pasteuria penetrans.*(ex Thorne, 1940) non.

rev. comb. m., sp. *n.,* a mycelial and endospore-forming bacterium parasitic in plant-parastic nematodes. Proc. Hemlmith. Soc. Washington 52:149-165.

21. Smith, G. S., R. S. Hussey, and R. W. Roncadori. 1986. Penetration and postinfection development of *Meloidognye incognita* cotton as affected by *Glomus intraradices* and phosphorus. J. Nematology 18:429-435.

22. Stirling, G. R., M. V. Mckenry, and R. Mankau. 1979. Biological control of root-knot nematodes (*Meloidogyne spp.*) on peach. Phytopathology 69:806-809.

23. Stirling, G. R. 1984. Biological control of *Meloidogyne javanica* with *Bacillus penetrans*. Phytopathology 74:55-60.

七討　　論

林奕耀（國立中興大學）問：

Bacillus penetrans 即屬放射狀菌，是否可人工培養？

曾顯雄（國立台灣大學）答：

Bacillus penetrans 目前學名已改為 *Pasteuria penetrans*,因為能產生絲狀菌絲。此菌能產生內生孢子，而內生孢子只在粘上活的線蟲時才能發芽侵入。在人工培養基 *P. penetrans* 無法發芽，故目前尚無法以人工培養，但似可以活的線蟲作少量繁殖。